

Aus dem II. Anatomischen Institut
der Freien Universität Berlin
Direktor: Prof. Dr. med. W. Schwarz

Die Cornea eines Amphibium
(*Triturus cristatus*) im Vergleich mit anderen
Vertebraten, insbesondere dem Menschen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Monika Schlichting, geb. Schwochow
geboren auf der Flucht von Belgard/Pom. nach Osterode am Harz

1972
—



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553616_0111

Aus dem II. Anatomischen Institut
der Freien Universität Berlin
Direktor: Prof. Dr. med. W. Schwarz

Die Cornea eines Amphibium
(*Triturus cristatus*) im Vergleich mit anderen
Vertebraten, insbesondere dem Menschen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Monika Schlichting, geb. Schwochow

geboren auf der Flucht von Belgard/Pom. nach Osterode am Harz

Referent: Prof. Dr. med. W. Schwarz

Korreferent: Prof. Dr. med. H. Hager

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen
Fachbereiche der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 27. Oktober 1972



Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung	2
Material und Methode	9
Untersuchungsergebnisse	11
Diskussion	16
Zusammenfassung	21
Literaturverzeichnis	27

Einleitung

Die Cornea ist eine funktionelle Einheit aus Epithel, Bindegewebe und Endothel. Der Aufbau der Cornea im einzelnen besteht aus dem fünfschichtigen vorderen Corneaepithel, der Bowmanschen Membran, dem Stroma, auch Substantia propria genannt, der Descemetschen Membran und dem Endothel. In einem Organismus hat normalerweise ein Gewebe eine einzige Aufgabe (Muskelfaser: Kontraktion) oder zwei sich ergänzende Aufgaben (Drüsengewebe: Produktion und Exkretion). Die Cornea hat aber zwei verschiedene und nicht einmal miteinander verwandte Funktionen: Sie muß transparent sein wie ein optisch homogenes glasähnliches Material, um kein unscharfes oder verzerrtes Bild zu liefern, außerdem muß sie Festigkeit mit elastischer Verformbarkeit aufweisen wie z.B. Faszien, um den Kammerinnendruck konstant zu halten und möglichst auch eventuelle von außen einwirkende stumpfe mechanische Kräfte schadlos ertragen zu können. Seitdem nun bekannt ist, daß die Cornea weder optisch homogen ist, noch einem Faszien- oder Sehnen- gewebe ähnelt, wurde die Frage akut, wie eine Cornea aufgebaut sein muß, um nicht durch einengende Kompromisse in bezug auf die Transparenz und auf die mechanische Festigkeit in ihrer Funktion eingeschränkt zu werden.

Welche Stationen der morphologischen Genese durchläuft die Cornea, um diese hochspezialisierten Aufgaben von Festigkeit und Transparenz erfüllen zu können?

Welche optischen Prinzipien kann man anführen, um ihre Transparenz zu begründen?

Da die Substantia propria 90 % der gesamten Cornea ausmacht (25), müssen Überlegungen und Versuche zur Beantwortung der o.a. beiden Fragen vor allen anderen Corneaanteilen diesen Hauptbestandteil betreffen. Vorweg sollen zum Verständnis wichtige Angaben gemacht werden:

Elektronenmikroskopie:

In der Substantia propria befinden sich kollagene Fibrillen, Kittsubstanz, Filamente und Keratozyten (3,19,21).

Chemie:

Analysiert wurden neben dem Fibrillenkollagen und seinen Bausteinen die Glycosaminoglycane. Diese unterteilen sich zu 3 % in das Glycosaminoglycuronoglycan Chondroitin, zu 34-43 % in das sulfatierte Glycosaminoglycuronoglycan Chondroitin-4-sulfat und zu 54-63 % in das Glycosaminoglycosoglycan Keratansulfat. Sie alle sind in jeweils genau festgelegter Verknüpfungsweise mit Peptiden verbunden.(2). Die früher als Mucopolysaccharide bezeichneten Glycosaminoglycane können auch auf andere Weise gegliedert werden und zwar zu 37 % in Galaktosaminoglycane (Chondroitin und Chondroitin-4-sulfat) und zu 63 % in Glucosaminoglycane (Keratansulfat). Die Glycosaminoglycane haben in unterschiedlicher Stärke Einfluß auf die Elastizität der Cornea, auf das Wasserbindungsvermögen der Substantia propria, auf den Ionenaustausch und auf spezielle Enzyminhibition (Chondroitinsulfat:Hyaluronat-lyase). Neben den Glycosaminoglycanen konnten in der Rindercornea noch Glycopeptide gefunden werden (2).

Optik:

Folgende Erscheinungen der Optik sind für das Verstehen der verschiedenen Stationen bis zur heute diskutierten Transparenztheorie von Hart und Farrell (4) nötig: das optische Gitter mit seiner Strahlenbeugung, das Interferenzphänomen, die Brechungsindices von Kollagen und Kittsubstanz und die Wellenlänge des sichtbaren Lichtes von 0,4-0,8 μ y.

Eine Antwort auf die eingangs gestellte Frage nach der Entwicklungsgeschichte der Cornea mag hier in Grundzügen aufgeführt werden. Augen von erwachsenen Wirbeltieren zeigen untereinander das gleiche Bauprinzip. Deswegen hält man auch die Entwicklungsgeschichte dorthin für vergleichbar (27). In mehreren Veröffentlichungen dazu wurde das Hühnchen wohl wegen seiner leichten Züchtungsbedingungen und der relativ großen Augen bevorzugt. Dabei wurde beobachtet, daß zu dem Zeitpunkt, an dem sich der neuroektodermale Augenbecher ausgebildet und die Linsenblase vom Oberflächenektoderm abgeschnürt hat, sich zwischen ektodermalem Epithel und der abgeschnürten Linsenblase ein zellfreier Raum befindet, der das faserige Primärstroma enthält. Dieses Stroma haben mehrere Autoren beim Hühnchen wie auch bei einigen Säugern beschrieben (5,14,18,28). Das Oberflächenepithel darüber ist zu diesem Zeitpunkt zweischichtig; seine Basalzellen weisen Sekretionszeichen auf, weswegen man das Primärstroma als sein Produkt auffaßt (5,14,17). Es sind Zweifel an dieser Primärstromaproduktion lautgeworden, die sich auf die mangelnde Kollagenquerstreifung (9) und das fehlende

Hydroxyprolin (6) in den ersten Tagen der Entwicklung beziehen. Eventuell ist das Oberflächenepithel nur mit der Bildung einer Basalmembran beschäftigt (16). Wie bei der ausgewachsenen Substantia Propria sollen die Fasern im Primärstroma parallele Lamellen bilden, die aber noch gröbere Abweichungen von der Regelmäßigkeit der ausgewachsenen Lamellen zeigen. Bei einer plötzlich einsetzenden Anschwellung des Primärstroma dienen diese Lamellen als Leitschienen für die Mesenchymzelleninvasion vom Augenbecherrand her. Diese eingewanderten Mesenchymzellen häufen sich entlang dieser Lamellen in einer größeren Schichtenzahl an und differenzieren sich zu Fibroblasten, erkenntlich an der Vergrößerung der Zellorganellen. Dies bedeutet den Produktionsbeginn von Tropokollagenmolekülen und Glycosaminoglycanproteinkomplexen. Die Tropokollagenmoleküle sind 280 mmy lang und 1,5 mmy dick. Sie stellen eine Helix dar, bestehend aus drei verschlungenen Polypeptidketten aus Glycin, Prolin und Hydroxyprolin. Die Synthese von Tropokollagenmolekülen und Glycosaminoglycanproteinkomplexen läuft bereits intrazellulär ab (12,13,19,20). Die Syntheseprodukte werden aus der Zelle ausgeschleust und am äußeren Zellrand für ein kleines Zeitintervall deponiert. Die Tropokollagenmoleküle entrichten sich dann entlang von polymerisierten Glycosaminoglycanen, Fadenmolekülen, aus und verbinden sich, jeweils um ein Viertel ihrer Länge versetzt, miteinander. Dabei werden diese Fibrillenvorstufen immer dicker und lassen ab einer bestimmten Dicke im elektronenmikroskopischen Bild die für das

Kollagen typische Querstreifung erkennen (13,24). Die Dicke der Fibrillen und die Menge von hochpolymerisierten Glycosaminoglycanen scheinen dabei immer in einem bestimmten Verhältnis zu stehen, und zwar verhalten sich die beiden Größen umgekehrt proportional zueinander (15). Der Durchmesser der kollagenen Fibrillen wird also von den Glycosaminoglycanen beeinflusst. Zu dem Zeitpunkt dieser Aggregation der Tropokollagenmoleküle werden zwei Formen der hochpolymerisierten Glycosaminoglycane, auch hier im folgenden einfach Filamente genannt, beobachtet. Es gibt Filamente, die sich als kürzere oder längere Fäden in Abständen an Fibrillenoberflächen anlagern oder aber zu einem isolierten Knäuel zusammengeballt sind (10,24). Untersuchungen an der Rattencornea stehen in Diskussion zu dieser Fibrillogenese (3). Dort konnte nämlich kein Primärstroma mit kollagenen Fibrillen in lamellärer Anordnung nachgewiesen werden. In dem Raum des Primärstroma wurden aber diese geknäuelten Filamente gefunden, von denen man annimmt, daß sie von den Mesenchymzellen des Augenbecherrandes her in den elektronenoptisch leeren Raum hineindiffundiert sind. Derselbe Autor stellt sich diese Glycosaminoglycane als Nukleationslinien vor, die durch das physiologische Wachstum von Augenbecher und Linse entwirrt, also gestreckt werden. Damit entsteht ein oberflächenparalleles Netz aus Filamentfäden, welches dann auch die Aufgabe einer Matrice für die Tropokollagen-einheiten erfüllen kann. Nach Ausreifung der Cornea wird die Anzahl der Glycosaminoglycanmakromoleküle kleiner,

auch sind aus Fibroblasten Keratozyten geworden.

Die eingangs aufgeführte zweite Frage bezog sich auf die Begründung der Transparenz. Bis heute wurden gazu folgende Feststellungen gemacht: Es konnten keine absolut gleichen Brechungsindices von Kittsubstanz und Kollagenfibrillen ermittelt werden, wodurch eine optische Homogenität erreicht worden wäre (19). Maurice erklärte die Transparenz mit einem geometrisch geordneten optischen Gitter aus Fibrillen (11). Doch Schwarz und Keyserlingk widerlegten eine solche kristalline Anordnung, stellten aber einen konstanten und kleinen Fibrillendurchmesser und konstanten Fibrillenabstand im Gegensatz zu entsprechenden Werten der undurchsichtigen Sklera fest (21) und verglichen diese Befunde mit der statistischen Verteilung von Partikeln in einer kolloidalen Lösung, wobei diese Partikel kleiner als ein Zehntel der Wellenlängen des sichtbaren Lichtes sind. Durch Untersuchungen an Narben- und Transplantatgeweben der menschlichen Cornea konnten Schwarz und Keyserlingk auf die Bedeutung der Einheitlichkeit der Werte für Fibrillendurchmesser und Fibrillenabstände und auf die Bedeutung der Parallelität der Fibrillen untereinander für die Transparenz hinweisen. Diese parallelen Fibrillen sind wiederum in Lamellen parallel zur Oberfläche angeordnet (22). Dieselben Autoren betonten auch die geringe Differenz der Brechungsindices zwischen Kollagenfibrillen und Kittsubstanz und ihre Bedeutung für die Transparenz. Mit Hilfe von praktischen und ausführlichen mathematischen Experimenten an einer Kaninchencornea

faßten Hart und Farrell die bisher angeführten Bausteine für eine Transparenzbegründung zusammen (4). Die Substantia propria ist danach ein Gitter von quasi-regulärer, quasi-statistischer Anordnung, d.h. die Fibrillen der Substantia propria sind weder wie in einem idealen kristallinen Gitter noch völlig unregelmäßig verteilt; die Substantia propria hat also vom quasi-regulären wie vom quasi-statistischen Gitter je einen Anteil. Die mathematischen Berechnungen ergaben, daß bei diesem Packungsmuster Streustrahlungen durch Interferenz aufgehoben werden. Im Wellenlängenbereich des Lichtes ordnen sich die Fibrillen zu einem regulären und damit transparenten Gittersystem. In kleineren Größeneinheiten kann die Verteilung rein zufällig sein, ohne die Transparenz zu stören. Dies wurde auch durch elektronenmikroskopische Untersuchungen an einem durchsichtigen Fisch von Schwarz und Keyserlingk bestätigt (23).

In dieser Arbeit soll untersucht werden, ob sich bei einem in der Stammesgeschichte niedrig stehenden Wirbeltier wie dem Molch deutliche Ähnlichkeiten mit den bekannten Daten anderer Vertebraten, insbesondere denen der menschlichen Cornea, finden lassen. Die Ergebnisse sollen auch im Zusammenhang mit bisherigen Überlegungen zur Transparenzbegründung wie auch mit der modernen diesbezüglichen Theorie von Hart und Farrell betrachtet werden.

Material und Methode

Untersucht wurde die Substantia propria der Cornea eines Molches (*Triturus cristatus*). Nach der Dekapitation wurden die Bulbi enukleiert und zwei Stunden lang in einer Karnovsky-Lösung fixiert, danach zwei Stunden in 0,1 m Cacodylat-Pufferlösung gewaschen und anschließend in 1 %iger, mit 0,1 m Cacodylatpuffer abgepufferten, Osmiumsäure für weitere zwei Stunden nachfixiert, worauf abschließend eine Wäsche in 0,9 %iger NaCl-Lösung erfolgte. Hieran schloß sich die stufenweise Entwässerung in der aufsteigenden Mikropal-Acetonreihe an:

Mikropal : Aceton

1	:	3	(60 min)
1	:	1	(60 min)
3	:	1	(2 Std.)
9	:	1	(über Nacht)

Abschließend wurde über Nacht reines Mikropal (Ferak, Berlin) verwendet mit Initiator und Aktivator. Die Einbettung in Mikropal (mit Katalysatoren) ging in drei Stufen vor sich:

1. Stehenlassen bei Zimmertemperatur
2. über Nacht bei 37 °C
3. 24 Stunden bei 60 °C

Von den daraus entstehenden Blöcken wurden Schnitte mit dem Mikrotom Reichert-Austria Om-U2 hergestellt und anschließend mit Uranylacetat kontrastiert. Für das Schießen der Aufnahmen diente das Siemens-Elmiskop I bei einer Strahlspannung von 80 kV, wobei die Primär-

vergrößerungen je nach Fragestellung zwischen dem 6000- und 20 000fachen lag.

An Hand der Aufnahmen wurden Kollagengehalt, Fibrillendurchmesser und Mittelpunktabstand auf folgende Weisen ermittelt:

A Kollagengehalt:

Benutzt wurde die Punktzählmethode nach Weibel (29). Auf einer Mattscheibe wurden bei einer Endvergrößerung von 1 : 240 000 mit Hilfe mehrerer dafür angefertigter Schablonen Trefferpunkte auf drei verschiedenen Aufnahmen ausgezählt.

B Fibrillendurchmesser:

Auf Papierabzügen mit einer Endvergrößerung von 1 : 56 000 wurden mit einer Lupe (0,1 mm - Einstellung) 207 Fibrillendurchmesser gemessen und in mmy umgerechnet.

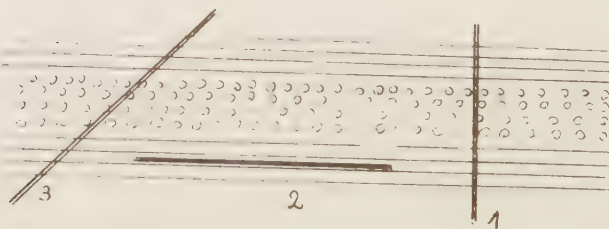
C Mittelpunktabstand:

Wie bei A wurden Negative auf eine Mattscheibe zu einer Endvergrößerung von 1 : 240 000 projiziert. Ein Zirkel mit mm-Einteilung diente dazu, 200 Mittelpunktabstände auf den Negativen abzugreifen; die so gemessenen Werte wurden dann in mmy umgerechnet.

Untersuchungsergebnisse

A Beschreibung von elektronenmikroskopischen Aufnahmen

Die elektronenmikroskopischen Aufnahmen zeigen alle eine dichte Lamellenpackung bei kleinen wie bei stärkeren Vergrößerungen. Dabei lassen die Lamellen eine ausgeprägte Streckung erkennen und weisen kaum eine Wellenform auf. Sie verlaufen insgesamt parallel zur Oberfläche. Die Messung der Lamellendicke ergab Werte bis 740 mmy. Bei der Verlaufsrichtung der einzelnen Lamellen zueinander wird der rechte Winkel bevorzugt. Dies beweisen die alternierenden Lamellen mit einmal runden Fibrillenquerschnitten, einmal stichähnlichen Fibrillenlängsschnitten. So geartete Aufnahmen stellen Schnitte senkrecht zur Oberfläche dar (Bild 1 Rechteck). Bei Aufnahmen von nicht oberflächenparallelen, aber auch nicht senkrecht zur Oberfläche gelegten Schnitten, sieht man eine Rechtwinkligkeit der Fibrillenlaufrichtungen aus zwei verschiedenen Lamellenetagen (Bild 2). Zur Verdeutlichung der Schnittführung mag folgende Prinzipzeichnung dienen:



Zeichnungsschnitt 1 ist ein Beispiel für einen senkrecht zur Oberfläche gelegten Schnitt, auch im Rechteck von Bild 1 erkennbar. Zeichnungsschnitt 2 ist ein oberflächenparalleler Schnitt, auf dem man nur eine Verlaufsrichtung der Fibrillen erkennen kann. Zeichnungsschnitt 3 ist ein schräger Schnitt, der bereits mit der o.a. Beschreibung von Bild 2 erläutert wurde.

Auf vielen Aufnahmen sind partienweise kaskadenförmige Verdichtungen zu erkennen (Bild 1 und Bild 2), die ich für Artefakte halte. Es traten nämlich beim Schneiden mit dem Mikrotom Schwierigkeiten auf, da sich die Schnittblöcke durchweg als elastisch erwiesen. Diese besondere Eigenart kann im Zusammenhang mit dem später beschriebenen besonders hohen Kollagengehalt der Molchcornea gesehen werden.

Auf einigen wenigen Aufnahmen, und dort auch nur an wenigen Orten, wird der Lamellenverlauf unruhig, ähnlich einer Beschreibung in einer früheren Arbeit von Schnitten in Limbusnähe (26).

Bei stärkeren Vergrößerungen ist erkennbar, daß nicht nur die Lamellen, sondern auch die einzelnen Fibrillen zueinander eine relativ ausgeprägte Parallelität zeigen.

Filamente, die zwischen benachbarten Fibrillen Brücken bilden, sind nur äußerst selten und dann auch nur bei stärkeren Vergrößerungen ab 1 : 70 000 zu erkennen (Bild 3 Kreis). Dort bilden sie zwischen einzelnen Fibrillen Verbindungen auf kürzestem Wege, d.h. rechtwinklig auf Fibrillen stehend. Auf vielen anderen Auf-

nahmen, die wie Bild 5 stark vergrößert sind (1 : 120 000), sind diese Filamente nicht sicher erkennbar.

Auch das Auffinden von für das Kollagen typischer Querstreifung bereitete Schwierigkeiten und war nur auf wenigen Aufnahmen möglich. Beim Auszählen der dabei gefundenen Querstreifen konnte auch nur auf eine geringe Anzahl pro Fundort zurückgegriffen werden (Bild 4 Kreis). Dabei ergab sich eine mittlere Querstreifungsperiode von 19 mmy. Bild 5 weist mit 1 : 120 000 eine besonders starke Vergrößerung auf. Es zeigt viele exakt quergetroffene Fibrillen, deren Schnittfläche nicht homogen dunkel ist, sondern eine helle und dunkle Körnelung erkennen läßt, worauf in der Diskussion noch eingegangen wird. Auf dieser Aufnahme ebenso wie auf allen anderen konnte kein symmetrisch geordnetes Fibrillengittersystem gefunden werden.

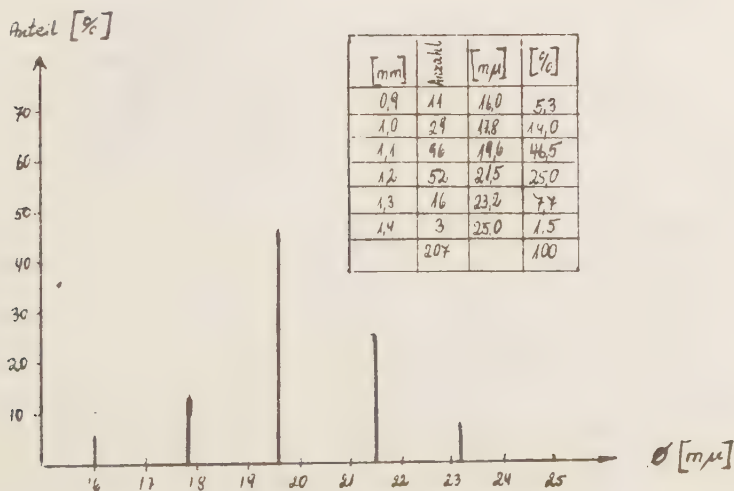
B Ermittelte Daten

1. Kollagengehalt:

Zur Bestimmung des Kollagengehaltes wurden drei verschiedene Aufnahmen benutzt, an sieben nicht identischen Stellen das Weibelsche Punktgitter aufgelegt und von 1076 möglichen Punkten 401 Trefferpunkte ermittelt. Der Volumenanteil der Fibrillen an der Substantia propria und damit der Kollagengehalt beträgt 37,4 V%. Der entsprechende Kollagengehalt bei der Cornea des Menschen beträgt 14,5 V% (21).

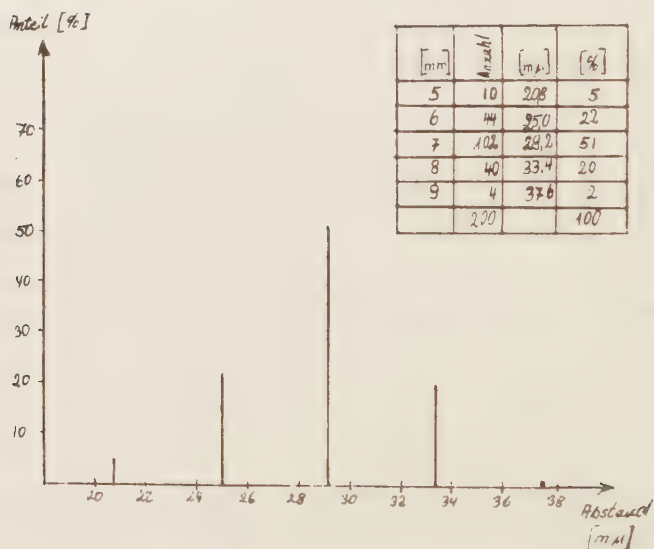
2. Fibrillendurchmesser

Aus den Werten für 207 gemessene Fibrillendurchmesser wurde der arithmetische Mittelwert errechnet, wonach sich für die durchschnittliche Einzelfibrille eine Dicke von 19,8 mmy ergibt. Der Mittelwert ließ sich errechnen aus den nachfolgenden Werten, die in einer Tabelle geordnet sind. Die kollagenen Fibrillen der menschlichen Cornea sind zwischen 23 und 27 mmy dick (21).



3. Mittelpunktabstand

Die 200 Werte der Fibrillenabstandsmessungen sind ebenfalls in einer Tabelle geordnet, nach deren Werten eine Verteilungskurve angefertigt wurde. Der häufigste gemessene Mittelpunktabstand liegt bei 28,8 mm (arithmetisches Mittel). Der Abstand der Fibrillen in der menschlichen Cornea hat dagegen eine Größe von 50 mm.



Diskussion

A Bei unterschiedlicher Fragestellung untersuchte man bisher die Cornea von Fischen (1,23), Hühnchen (18), Kaninchen (4,26), Mäusen (16), Menschen (21,22) und Ratten (3,7,8). Gleichzeitig mit dieser Arbeit werden im II. Anat. Institut der Freien Universität Berlin unter Anleitung von Herrn Prof. Dr. med. W. Schwarz Daten über die Cornea eines Reptils (Gecko) und die eines Frosches erarbeitet. Meine Untersuchung an der Hornhaut eines Amphibiumauges sollen verstärkende oder abschwächende Akzente für die bisherigen grundlegenden Überlegungen liefern.

Das Bauprinzip der Substantia propria der Amphibi-
umcornea entspricht mit seiner gestreckten parallelen
Lamellenstruktur durchaus dem der menschlichen Cornea.
Ähnlichkeit mit dem eingangs beschriebenen postulierten
Primärstroma kann nicht mehr gefunden werden. Die alte
Auffassung, wonach die Lamellen bei niederen Vertebraten
senkrecht in ihrer Verlaufsrichtung zueinander geschich-
tet sind, ist auch durch meine Untersuchungen zu bestäti-
gen (25). Bei höher entwickelten Tieren gilt diese Bevor-
zugung der Rechtwinkligkeit offensichtlich nicht. Die
Lamellen der Rattencornea nämlich konnten in ihren Ver-
laufsrichtungen zueinander keine Häufigkeit eines bestimm-
ten Winkels, schon gar nicht des rechten, aufweisen. In
allen bisherigen Untersuchungen - wie auch in dieser Arbeit-
wird aber die Existenz von oberflächenparallelen Lamellen

in dichter Packungsweise betont. Dies scheint eine all-gemeingültige Voraussetzung für die Transparenz zu sein, zumal man unter anderem in opakem Narbengewebe unregelmäßige Spaltbildung zwischen den Fibrillen und ungeordnete Verlaufsrichtungen der einzelnen Fibrillen zur Oberfläche beobachtet hat (22). Filamente existieren auch in der Cornea vom Molch (Bild 3). Aber auf Grund der seltenen Fundorte kann eine abstrahierende Aussage über ihre Häufigkeit, Form und Verlaufsrichtung speziell beim Molch nicht gemacht werden. Eingangs wurde bereits die Bedeutung dieser Filamente als regulativ für das Dickenwachstum der einzelnen Kollagenfibrillen beschrieben. Im adulten Zustand der Cornea wie hier beim Molch scheinen sie auch eine zweite Aufgabe, nämlich die der Statikerhaltung, dabei besonders die Aufrechterhaltung eines konstanten Fibrillenabstandes, zu erfüllen. Die in der Aufnahme 3 gefundenen Filamente gehören einem kurzen Typ an. Lange Formen solcher Filamente, von Smith und Frame an Hand einer Kaninchencornea beschrieben (26), die nacheinander mehrere Fibrillen miteinander verbinden, konnte ich nicht finden. Smith und Frame machten sich auch Gedanken über die chemischen Bestandteile dieser Filamente, die in guter Übereinstimmung mit den eingangs aufgeführten Gliederungen der Glycosaminoglycane stehen.

In keiner Aufnahme bilden die Fibrillen ein Gitter von kristalliner Anordnung, wie das von Maurice vermutet worden ist (11). Es handelt sich auch beim Molch um ein quasi-reguläres, quasi-zufälliges Gittersystem, bei dem

nach bei Hart und Farrell beschriebenen Berechnungen die Streustrahlung trotzdem durch Interferenz aufgehoben wird. Die auf Bild 4 ersehbare Querstreifung mit einer Periodik von 19 mmy fällt nicht aus dem Rahmen, wenn man diesen Wert mit Beobachtungsergebnissen von Smith und Frame am Kaninchen (26) oder Hackelberg an der Ratte (3) vergleicht. Die bei Bild 5 beschriebenen hellen und dunklen Granulationen innerhalb der quergetroffenen Fibrillenflächen lassen in Anlehnung an Smith und Frame (26) folgende Interpretationen zu: Innerhalb einer einzelnen kollagenen Fibrille befinden sich Strukturen, die als Longitudinalfilamente bezeichnet werden können, da sie die gleiche Verlaufsrichtung wie die Fibrille selbst haben. Diese Longitudinalfilamente sollen aus Einheiten nativen Kollagens bestehen und die Dicke von fünf Tropokollagenmolekülen haben, wobei jede Tripelhelix um 64 mmy von seinem Nachbarn versetzt ist. Smith und Frame sahen diese Erscheinungen in Längs- und Querschnitten der Corneafibrillen des Kaninchens und verglichen sie mit entsprechenden Aufnahmen einer Sehne, wobei sie jene helle und dunkle Punktierung der Fibrillenquerschnitte nicht nachweisen konnten, sondern lediglich eine ebenmäßige Färbung an demselben Ort fanden. Bemerkenswert ist dabei, daß der Kollagengehalt in der Cornea wie in der Sehne des Kaninchens gleich ist und trotzdem diese beschriebene Granulierung nur bei der Cornea auftritt. Man kann es sich so erklären, daß die dunklen Punkte die quergeschnittenen Longitudinalfilamente selbst sind und

die hellen Punkte die Kopplungsstellen zwischen den Longitudinalfilamenten bedeuten, die wie in Bild 5 nur deshalb so gut zu differenzieren sind, weil sie, verglichen mit den Befunden bei der Sehne, nur in einer kleinen Anzahl vorhanden sind.

B In der Cornea des Molchs befindet sich gut zweieinhalbmal soviel Kollagen wie in der menschlichen Hornhaut des Auges. Da auch der Kollagengehalt der Cornea anderer Wirbeltiere trotz erwiesener Transparenz stark differiert, kann ein Zusammenhang oder eine direkte Abhängigkeit zwischen Kollagengehalt und Transparenz nicht gesehen werden. Diese Befunde werden dadurch abgerundet, daß Schwarz und Keyserlingk in einem Narbengewebe, das völlig undurchsichtig war, einen Kollagengehalt wie im normalen cornealen Gewebe fanden, so daß sie die mangelnde Transparenz nicht mit einem Wechsel im Kollagengehalt, sondern mit anderen Größen erklären konnten.

Die Kollagenfibrillendicke der Molchcornea hat ihren Mittelwert bei 19,8 mmy, der damit um 5 mmy oder 20 % geringer ist als der entsprechende Mittelwert der menschlichen Cornea. Auch der mathematische Wert für den Mittelpunktabstand der Corneafibrillen von Molch und Mensch differiert. Mit 28,8 mmy ist der Fibrillenabstand beim Molch um 21,2 mmy oder um 43 % geringer als der entsprechende Wert beim Menschen. Auffällig und übereinstimmend mit dem Menschen sind die Verläufe der Verteilungskurven, die sich aus den gemessenen Werten der

Fibrillendurchmesser und der Fibrillenabstände ergaben. Ohne Ausnahme zeigen beide einen glockenförmigen Kurvenverlauf, d.h. daß Fibrillendurchmesser wie Fibrillenabstände nur gering um ihren arithmetischen Mittelwert schwanken. Für die Erklärung der Transparenz scheinen also die absoluten Werte für die Fibrillendurchmesser von zweitrangiger Bedeutung zu sein, solange sie klein bleiben, d.h. bis zu der Größe von einem Zehntel der Wellenlängen des sichtbaren Lichtes. Der Mensch hat die dicksten Fibrillen, direkt gefolgt vom Kaninchen (4), dünner sind die Fibrillen in der Cornea des Fisches (23) und auch hier die vom Molch. Als immer bedeutsam aber erscheint die geringe Schwankungsbreite der Fibrillendicke und ebenso die der Fibrillenabstände, wodurch ein quasi-reguläres Gitter im Sinne von Hart und Farrell erreicht wird. Wenn man die bis heute unwiderlegten Bedingungen für die Transparenz der Cornea zusammenfaßt, ergeben sich fünf essentielle Punkte:

1. die oberflächenparallele dichte Packung der Lamellen mit ihren Fibrillen
2. die nur gering unterschiedlichen Brechungsindices von Kittsubstanz und Kollagen
3. der Durchmesser der kollagenen Fibrillen muß kleiner sein als ein Zehntel der Wellenlänge des sichtbaren Lichtes
4. die Fibrillendicke darf nur gering um einen Mittelwert schwanken
5. durch die geringe Schwankung des Fibrillenabstandswertes ergibt sich ein quasi-reguläres, quasi-statistisches Gitter.

Zusammenfassung

Die Autorin ermittelte Daten der Substantia propria der Cornea eines Amphibium (*Triturus cristatus*) und verglich sie mit den entsprechenden Angaben über andere Vertebraten. Für diese Auswertung wurden elektronenmikroskopische Fotografien an dem II.Anat.Institut der Freien Universität Berlin, Prof. Dr. med. W. Schwarz, aufgenommen. An Hand dieser Aufnahmen wurden dichtgepackte, oberflächenparallele Lamellen beschrieben, die eine senkrechte Verlaufsrichtung zueinander erkennen ließen, was für niedere Vertebraten typisch ist. Weiter wurden kurze und lange extrafibrilläre Filamente und intrafibrilläre Longitudinalfilamente eingehend besprochen. Die Querstreifung des Kollagens sowie ihre Periodik wurden ermittelt. In Bezugnahme auf den Menschen fanden sich abweichende numerische Werte für Kollagengehalt, Fibrillendurchmesser und Fibrillenabstand. In Übereinstimmung mit der menschlichen Cornea steht aber die Glockenform der entsprechenden Verteilungskurven. Wie für den Menschen konnte auch hier die Gültigkeit der Transparenztheorie von Hart und Farrell erkannt werden, denn statt eines theoretisch denkbaren kristallinen Gittersystems aus Fibrillen fand sich eine quasi-reguläre, quasi-statistische Verteilung der Fibrillen. Anschließend nannte die Autorin fünf Essentials, die für die Transparenzerklärung notwendig erscheinen.

Bild 1

Film C 193/1

Aufnahme 6493/71

1 : 56 000



Bild 2

Film C 193/1

Aufnahme 6496/71

1 : 56 000



Bild 3

Film C 193/1

Aufnahme 9641/71

1 = 75 000

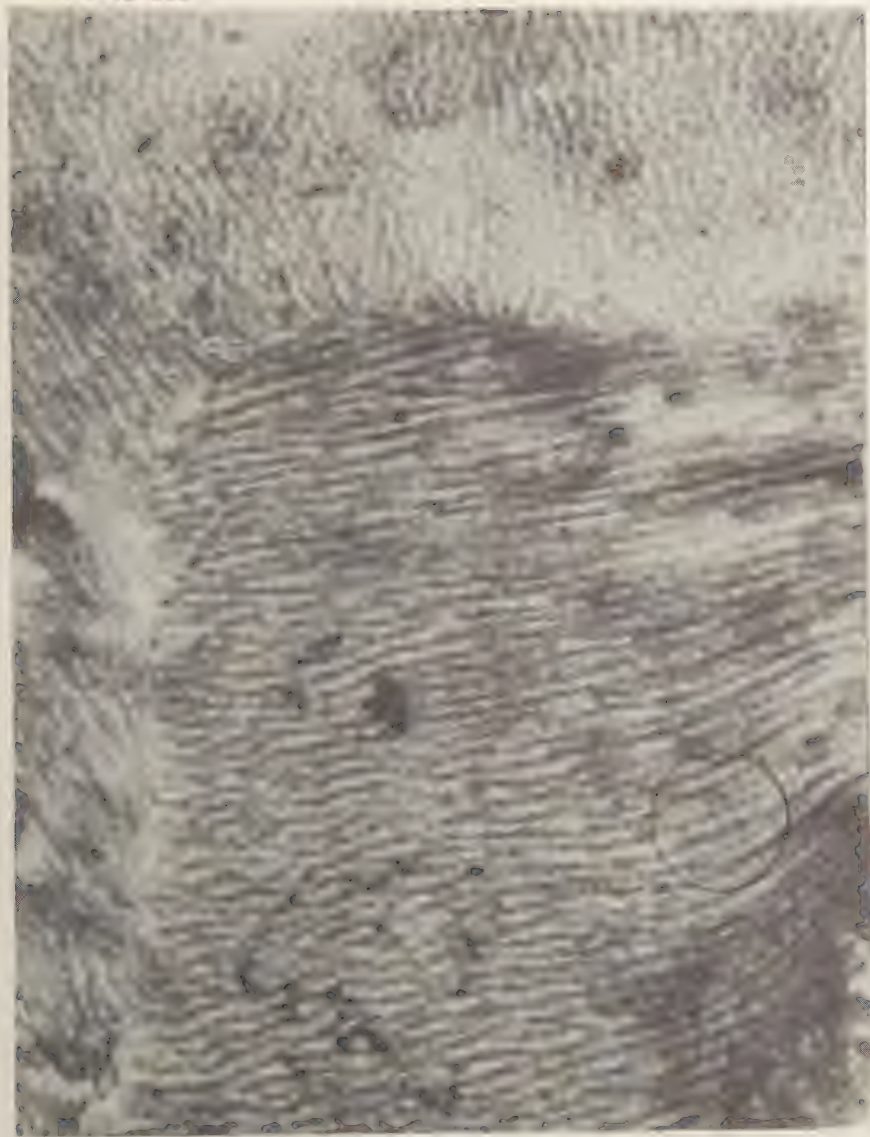


Bild 4

Film C 193/1

Aufnahme 6835/71

1 : 35 CCC



Bild 5 Film 193/1

Aufnahme 9642/71

1 : 120 000



Literaturverzeichnis

1.

Goldmann, J.N. - Benedek, G.B.

The relationships between morphology and transparency
in the nonswelling corneal stroma of the shark
Invest. Ophthal.

6,574-600

1967

2.

Greiling, H.

Struktur, Stoffwechsel und pathophysiologische Bedeutung
von Glykosaminoglykan-Proteinen

Habilitationsschrift, Aachen 1969

3.

Hackelberg, H.-H.,

Elektronenmikr. Untersuchungen über die Entstehung und
Reifung des Corneastromas der Ratte

Inaugural-Dissertation, Berlin 1971

4.

Hart, R.W. - Farrell, R.A.

Light scattering in the Cornea

Journ. of the Optical society of America

59,766-774

1969

5.

Hay, E. - Revel, J.P.

The fine structure of the developing avian cornea

Basel-New York

1969

6.

Herrmann, H.

Some problems of protein formation in the sclera and
cornea of the chick

Symposium on the chemical basis of development

John Hopkins Press, Baltimore

329-338 1958

7.

Jakus, A.M.

The fine structure of the rat cornea

Amer. J. ophthalmol.

38 (1,II), 40-52 1954

8.

Jakus, A.M.

The fine structure of Descemets membrane

J.biophys.biochem.catolog.

Supplement 2, 243-252 1956

9.

Karmascin, L.

Elektronenmikr. Untersuchungen des Fasersystems der
embryonalen Hornhaut

Acta morph.Acad.Sci.hung.

11,375-385 1962

10.

Matthews, M.

The interaction of proteoglycans and collagen-model systems

Chemistry and molecular biology of the intercellular matrix

Academic Press, London-New York

Volume II, 1155-1169 1970

11.

Maurice, D.M.

The structure and transparency of the cornea

J.physiol. (London)

136,263-286 1957

12.

Merker, H.J.

Elektronenmikr. Untersuchungen über die Fibrillogenese
in der Haut menschlicher Embryonen

Z.f.Zellforsch.

53,411-430 1961

13.

O'Connell, J.J. - Low, F.N.

A histochemical and fine structural study of early
extracellular connective tissue in the chick embryo

Anat.Rec.

167,425-430 1970

14.

O'Rahilly, R. - Meyer, D.

The early development of the eye in the chick

Acata anatom.

36,20-58 1959

15.

Payrau, P.

Biochemistry and immunochemistra of the cornea

Biochemistry of the eye

Verlag Karger, Basel-New York

1968

16.

Pierce, G.B.

The development of basement membranes of the mouse embryo
Develop.Biol.

13,231 1966

17.

Revel, J.P. - Hay, E.D.

Fine structure of the developing chick cornea
Anat.Rec.

151,492-493 1965

18.

Rohen, J.W.

Das Auge und seine Hilfsorgane
Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen
Berlin-Heidelberg-New York

3.Bd., 4.Tl.5 1964

19.

Schwarz, W.

Elektronenmikr. Untersuchungen über den Aufbau
der Sklera und der Cornea des Menschen
Z.f.Zellforsch.

38,26-49 1953

20.

Schwarz, W. - Merker, H.J. - Kutzsche, A.

Elektronenmikr. Untersuchungen über die Fibrillogenese
in Fibroblastenkulturen
Z.f.Zellforsch.

56,107-124 1962

21.

Schwarz, W. - Keyserlingk, D.Graf

Über die Feinstruktur der menschlichen Cornea mit
besonderer Berücksichtigung des Problems der Transparenz
Z.f.Zellforsch.

73,540-548 1966

22.

Schwarz, W. - Keyserlingk, D.Graf

Elektronenmikr. Untersuchungen an humanen Hornhautnarten
und an einem getrübbten Hornhauttransplantat
Virchows Arch. Abt.A. Path.Anat.

347,115-128 1969

23.

Schwarz, W. - Keyserlingk, D.Graf

Elektronenmikroskopische Untersuchungen der Cornea,Sklera,
Haut und Flossen eines durchsichtigen Fisches (Ambassis lala)
Z.f.Zellforsch.

102,78-84 1969

24.

Serafini-Fracassini, A. - Wells, P.J. - Smith, J.W.

Studies on the interactions between glucosaminoglycane
and fibrillar collagen

Chemistry and molecular biology of the intercellular matrix
Academic Press, London-New York

1201-1215 1970

25.

Smelser, G.K. - Ozanics, V.

New concepts in anatomy and histology of the cornea

The Cornea World Congress

Butterworths, London

1-20 1965

26.

Smith, J.W. - Frame, J.

Observations on the collagen and proteinpolysaccharide
complex of rabbit corneal stroma

J.Cell. Sci.

4,421-436 1969

27.

Starck, D.

Embryologie

Stuttgart 1965

28.

Trelstad, R.

Morphogenesis of pattern in chick corneal collagen

J.Cell.Biol.

39 1968

29.

Weibel, E.R.

Morphometry of the human lung

Springer, Berlin-Heidelberg

1963

Lebenslauf

Am 4.3.1945 wurde ich als erstes und einziges Kind von Irmgard und Hermann Schwochow im Lazarettzug auf der Flucht von Belgard/Pommern nach Osterode am Harz geboren. In Osterode besuchte ich zuerst die Grundschule, dann das Städtische Gymnasium, welches ich 1964 mit dem Abitur verließ. An der Universität von Göttingen studierte ich zwei Jahre die Fächer Latein und Religion. Mit meiner Heirat 1966 wechselte ich an die Freie Universität Berlin über und nahm zusammen mit meinem Mann das Studium der Humanmedizin auf, das ich 1972 mit dem Staatsexamen beendete. Nach der Approbation will ich mich zur Fachärztin ausbilden lassen.

Für klare Anleitung, viele Hinweise und Vorschläge danke ich meinem Doktorvater, Herrn Professor Dr. med. W. Schwarz, sehr; ebenfalls danke ich Frau Shunnar für die geduldige und sachkundige Unterstützung bei vielen technischen Problemen.

Die erste Aufgabe der Pädagogik ist es, die
Kindheit zu verstehen und zu fördern. In der
Kindheit liegt die Grundlage für die
Entwicklung des Menschen. Die Pädagogik
muss die Kindheit verstehen und fördern.
In der Kindheit wird der Mensch
gebildet. Die Pädagogik muss die
Kindheit verstehen und fördern.
Die Kindheit ist die Grundlage für
die Entwicklung des Menschen. Die
Pädagogik muss die Kindheit
verstehen und fördern.

Die zweite Aufgabe der Pädagogik ist es,
die Kindheit zu verstehen und zu fördern.
In der Kindheit liegt die Grundlage für
die Entwicklung des Menschen. Die
Pädagogik muss die Kindheit
verstehen und fördern.

